

Н.Н. Белов, С.О. Сулов

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФАЗОВЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОРАССЕЯНИЯ ПОГЛОЩАЮЩИХ ЧАСТИЦ

Предложена методика расчета характеристик светорассеяния радиально-неоднородных сферических поглощающих частиц, заключающаяся в решении уравнений метода фазовых функций для комплексных значений фаз.

Изучение светорассеивающих свойств малых сферических частиц является одной из актуальных задач современной оптики [1–3]. Особый интерес представляет расчет характеристик светорассеяния поглощающих радиально-неоднородных частиц [1]. Эта задача разрешима аналитически лишь в некоторых частных случаях, а надежных численных методов для ее решения при произвольной радиальной зависимости показателя преломления до сих пор разработано не было [1, 3]. В статье предлагается простой и эффективный метод расчета характеристик светорассеяния сферическими поглощающими радиально-неоднородными частицами, использование которого позволит изучить общие закономерности взаимодействия электромагнитного излучения со сферическими частицами, изучить условия их резонансного взаимодействия и объяснить экспериментально наблюдаемые эффекты, которые не находят объяснения в рамках теории Ми. Этот метод развивает идеи [4] использования фазовых функций для понижения порядка уравнений, возникающих в оптике неоднородных сферических частиц.

Будем рассматривать немагнитные сферические частицы с радиальной зависимостью комплексного показателя преломления $m(r)$. Будем считать, что $m(r)$ — непрерывная дифференцируемая функция. Обозначим a — радиус частицы, κ — волновое число падающего излучения, $x = \kappa a$ — параметр дифракции частицы. Дифференциальные уравнения оптики радиально-неоднородных частиц (см. [1] формулы (5.1.5) и (5.1.6)) удастся свести к уравнениям первого порядка, если ввести комплексные фазовые функции δ_l^o и δ_l^g , которые удовлетворяют уравнениям

$$\frac{d}{d\rho} \delta_l^o = (m^2(\rho) - 1) [\cos \delta_l^o(\rho) \psi_l(\rho) - \sin \delta_l^o(\rho) \chi_l(\rho)]^2 - [\ln(m^2(\rho))]' [\cos \delta_l^o(\rho) \psi_l(\rho) - \sin \delta_l^o(\rho) \chi_l(\rho)] \times \\ \times [\cos \delta_l^o(\rho) \psi_l'(\rho) - \sin \delta_l^o(\rho) \chi_l'(\rho)]; \quad (1)$$

$$\frac{d}{d\rho} \delta_l^g = (m^2(\rho) - 1) [\cos \delta_l^g(\rho) \psi_l(\rho) - \sin \delta_l^g(\rho) \chi_l(\rho)]^2$$

с граничными условиями

$$\delta_l^o(0) = \delta_l^g(0) = 0, \quad (2)$$

ψ_l и χ_l — функции Риккати–Бесселя; ξ_l — функция Риккати–Ганкеля первого рода; $\rho = \kappa r$, r — текущая координата.

Коэффициенты рассеянного поля [1, 2] в выражении через фазовые функции имеют вид

$$a_l = \frac{\psi_l(x) \omega_l'(x) - m^2(x) \psi_l'(x) \omega_l(x)}{\xi_l(x) \omega_l'(x) - m^2(x) \xi_l'(x) \omega_l(x)}; \\ b_l = \frac{\psi_l(x) g_l'(x) - \psi_l'(x) g_l(x)}{\xi_l(x) g_l'(x) - \xi_l'(x) g_l(x)}, \quad (3)$$

где

$$g_l(x) = \cos \delta_l^c(x) \psi_l(x) - \sin \delta_l^c(x) \chi_l(x);$$

$$\omega_l(x) = \cos \delta_l^o(x) \psi_l(x) - \sin \delta_l^o(x) \chi_l(x);$$

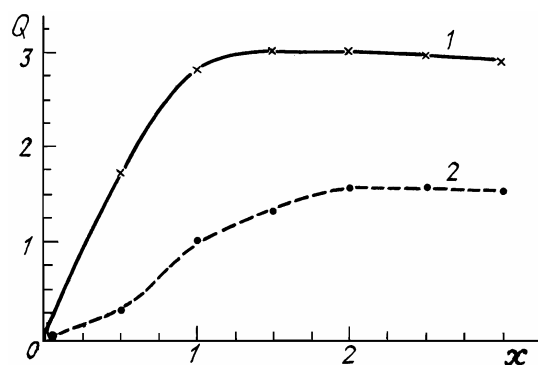
$$g_l'(x) = \cos \delta_l^c(x) \psi_l'(x) - \sin \delta_l^c(x) \chi_l'(r) ;$$

$$\omega_l'(x) = \cos \delta_l^o(x) \psi_l'(x) - \sin \delta_l^o(x) \chi_l'(x) .$$

Решение уравнения (1) с граничными условиями (2), подставленное в (3), обеспечивает решение задачи светорассеяния частицей, характеризующейся сложной радиальной зависимостью комплексного показателя преломления.

Были произведены расчеты оптических характеристик железных сфер с показателем преломления $n(r) = 1,27 + i1,37$ на длине волны $\lambda = 4200 \text{ \AA}$ [3]. На рисунке изображены зависимости от параметра дифракции x факторов эффективности экстинкции $Q_{\text{экс}}$ и рассеяния $Q_{\text{р}}$, полученные методом фазовых функций и согласно данным работы [3]. Совпадение полученных результатов показывает хорошую точность метода фазовых функций для поглощающих частиц.

Таким образом, разработан алгоритм, позволяющий за счет введения комплексных фазовых функций понижать порядок уравнений, возникающих в оптике радиально-неоднородных частиц, сводя задачу нахождения оптических характеристик таких частиц к решению дифференциальных уравнений первого порядка (1) с начальными условиями (2). Предлагаемый метод дает возможность быстро и точно рассчитывать оптические характеристики сферических частиц с достаточно общим видом радиальной зависимости комплексного показателя преломления. Это позволяет эффективно использовать данный метод при решении практических задач и открывает широкие перспективы дальнейшего развития оптики малых частиц.



Зависимости от параметра дифракции x факторов эффективностей экстинкции $Q_{\text{экс}}$: крестики — по данным [3], кривая 1 — согласно (1), и рассеяния $Q_{\text{р}}$: точки — по [3], кривая 2 — согласно (1)

1. Пришивалко А.П., Бабенко В.А., Кузьмин В.Н. Рассеяние и поглощение света неоднородными и анизотропными сферическими частицами. Минск: Наука и техника, 1984. 262 с.
2. Kerker M. The scattering of light and other electromagnetic radiation. N.Y. & London, Acad. Press, 1969. 666 p.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970. 856 с.
4. Shafai L. //Can. J. Phys. 1972. V. 50. № 8. P. 743—749.

Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова,
Москва

Поступила в редакцию
19 июня 1991 г.

N. N. Belov S. O. Suslov. The Use of Phase Function Technique to Calculate Light Scattering Characteristics of Absorbing Particles.

A technique for calculating light scattering characteristics of radially nonuniform spherical absorbing particles is proposed. The technique is based on solving equations within the frameworks of the phase functions methods for complex phases.